

La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero

Rice husk ash and its effect on adhesive mortars

Martha Alix Novoa Galeano¹, Luisa Daniela Becerra León², María Paula Vásquez Piñeros³,

¹Ingeniera Química, MSc. Facultad de Ingeniería Universidad Libre, Bogotá- Colombia, marthaa.novoa@unilibrebog.edu.co

^{2,3}Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad Libre, Bogotá – Colombia.

Fecha de recepción del artículo:

Fecha de aceptación del artículo:

Resumen

En este estudio se presenta una caracterización de la ceniza de cascarilla de arroz a un tamaño de partícula adecuado para su desempeño como agregado fino en adhesivos tipo mortero para colocación de baldosas cerámicas, debido al alto porcentaje de sílice en su composición química. Se analizan las propiedades físicas y químicas de los agregados y el comportamiento mecánico de fluidez y resistencia a la tracción de los morteros obtenidos con reemplazo parcial de arena en porcentajes desde 5% hasta 25%, proponiendo así el empleo de los residuos de ceniza de cascarilla de arroz y presentando una alternativa de disminución a la explotación de arena, la cual genera impactos graves al medio ambiente. Los resultados muestran que un porcentaje de reemplazo de la arena por ceniza de cascarilla de arroz de 20% produce fuerzas de tracción comparables con las obtenidas para adhesivos comerciales.

Palabras clave

Adhesivos tipo mortero, Arena, Cantera, Ceniza de cascarilla de arroz, Residuos sólidos.

Abstract

This research presents a characterization of rice husk ash to an appropriate particle size for their performance as fine aggregate in adhesive mortars for laying of ceramic tiles, due to the high percentage of silica in its chemical composition. The physical and chemical properties of aggregates are analyzed and the mechanical behavior of fluency and tensile strength of the mortars obtained with partial replacement of sand in percentages from 5% to 25%, proposing the use of waste rice husk ash and presenting an alternative to decreasing sand exploitation, which causes serious environmental impacts. The results show that a percentage of replacement of the sand by rice husk ash in a 20% produces tensile forces comparable with those obtained for commercial adhesives.

Keywords

Sand, quarry, rice husk ash, adhesive mortars, solids waste.

1. Introducción

El sector de la construcción emplea adhesivos tipo mortero para colocación de baldosas cerámicas que según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4382 están compuestos por una mezcla homogénea de material cementante, agregado fino y un aditivo orgánico, eliminando la necesidad de remojar el revestimiento cerámico y solo debe ser mezclado con agua antes de su utilización. Como conglomerante se emplea cemento; el agregado es la arena, que no influye en el fraguado y endurecimiento pero si en las propiedades físicas y químicas del mortero endurecido por lo que debe cumplir con parámetros de calidad como son partículas durables, limpias, duras, resistentes, sin recubrimiento de arcillas y otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento, adicionalmente, no deben contener minerales reactivos con los álcalis, ya que se generan reacciones expansivas que destruyen paulatinamente el mortero; el agua debe ser potable ya que el aditivo orgánico retiene agua, mejora la trabajabilidad y manejabilidad por inclusión de aire, actúa como regulador de espesor y resistencia temprana, mejora características de dispersión y suspensión, influye en las propiedades mecánicas de elasticidad y adhesión, mantiene la cantidad de agua necesaria para el fraguado, mejora propiedades de aplicación como tiempo abierto y de corrección [1].

La arena utilizada en este tipo de productos proviene de la explotación de canteras y genera impactos ambientales como la deforestación, la erosión del suelo, el desplazamiento de la fauna, la alteración geomorfológica, además de un efecto importante para la salud de los habitantes de las zonas aledañas, ocasionando daños potenciales por las emisiones de partículas que pueden ser aspiradas tanto por personas como por animales. En Cundinamarca, el desarrollo industrial obliga a extraer materiales para la construcción como gravas, arenas, arcillas, calizas, entre otros, produciendo la emisión de gases contaminantes y polución en el aire [2].

Según Correa [3] la extracción de materiales en Bogotá se concentra tanto en los cerros nororientales como en los suroccidentales y en los de Suba, esta actividad

se realiza con métodos antitécnicos, lo que ha originado un deterioro del sistema orográfico aumentando los niveles de erosión y las zonas de alto riesgo, afectando las condiciones ambientales de los sectores aledaños. El autor enfatiza que cantera significa pérdida de agua, transporte de material particulado, inundaciones, bloqueo de vías, amenazas, invasiones, mal uso del suelo, derrumbes, deslizamientos, destrucción de bosques, afectación severa del paisaje, conflictos sociales y contaminación ambiental.

Por otro lado, el crecimiento de la producción agrícola e industrial ha generado a su vez un incremento en los residuos producidos, siendo poco sustentable su tratamiento y destino final, de aquí la importancia de esta alternativa de aprovechamiento. Debido a su constitución físico-química, la cascarilla es además un desecho de muy difícil biodegradación, esto sumado al hecho de que en las plantas procesadoras de arroz la cantidad de cascarilla generada oscila en cifras cercanas al 20% en masa de la producción total, y ocasiona que su evacuación y transporte representen un problema considerable [4]. En Colombia, en el Tolima, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el primer semestre de 2012 la producción de arroz fue de 382460 toneladas.

Las características del agregado, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en la calidad del mortero. En este estudio se propone la ceniza de cascarilla de arroz como agregado fino, sin ningún tipo de tratamiento. En Argentina [5] se ensayaron mezclas usando arena y cascarilla de arroz con tratamiento previo, consistente en sumergirla durante veinticuatro horas en una solución de cal al 5% en agua y secarla hasta la condición de saturada y superficialmente seca, obteniendo morteros livianos y económicos, lo que permite su uso como materiales de construcción de bajo costo, pero con una reducción de la resistencia a la compresión. Otras investigaciones [6] han empleado este residuo como material puzolánico para reemplazar parcialmente el cemento, realizando una molienda para obtener un

tamaño de partícula semejante e incorporando a las mezclas agregados gruesos y finos con fines estructurales, los resultados muestran que en morteros con porcentajes de álcalis medios se genera una reacción expansiva diseminada, con aumento de volumen y disminución de la densidad de la estructura interna, pero se reiteran las ventajas a largo plazo al prolongar el periodo de endurecimiento, estabilidad frente a la retracción hidráulica de secado y durabilidad con respecto a ataques de agentes químicos externos. También ha sido usada como material puzolánico que suministra la microestructura en la zona interfacial entre la pasta de cemento y el agregado en concretos de autocompactación, generando efectos positivos en la resistencia mecánica, a edades superiores a 60 días [7], [8].

2. Metodología

El proyecto se realizó en dos fases, la primera se fundamentó en la realización de ensayos físicos y químicos que permitieron la caracterización de la ceniza de cascarilla de arroz y de la arena así como de las baldosas, para estas últimas se determinó la absorción de agua. La segunda etapa se centró en la preparación y ensayos mecánicos de adherencia para un tiempo abierto de 10 minutos y fluidez inicial para los morteros.

Los ensayos físicos realizados a los dos agregados fueron: análisis granulométrico, módulo de finura, humedad, densidad, masa unitaria suelta y compacta y porcentaje de vacíos.

Para la caracterización química de los agregados se determinó la presencia de impurezas orgánicas, el análisis químico y la reactividad álcali-sílice. Posteriormente se diseñaron mezclas con reemplazo parcial del agregado fino en porcentajes desde 5% hasta 25%, determinando porcentaje de fluidez y adherencia para un tiempo abierto de 10 minutos. De la revisión de estudios preliminares con morteros de albañilería conformados por áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón [9], se encontró que un 25% del componente reciclado es óptimo sin evidenciar pérdidas significativas en propiedades físicas y mecánicas. Investigaciones con

concreto [10] sugieren un 30% máximo de reemplazo con el fin de obtener una mezcla con trabajabilidad adecuada. De igual forma, porcentajes mayores no son adecuados debido a la cantidad de agua que absorbe la ceniza, de manera que no presenta asentamiento alguno debido al volumen que ocupa.

Las proporciones empleadas en la elaboración de los morteros se describen en la tabla 1; el mortero M1 se preparó sin reemplazo de arena y los 5 restantes se obtuvieron de la sustitución parcial de la arena por ceniza de cascarilla de arroz en porcentajes desde 5% hasta 25%, las composiciones de cemento y aditivo se dejaron fijas.

Tabla 1. Diseño experimental para elaboración de morteros de ensayo.

Mortero	Cemento (%)	Aditivo orgánico (%)	Arena (%)	Ceniza (%)
M1	32.9	0.4	66.7	0
M2	32.9	0.4	61.7	5
M3	32.9	0.4	56.7	10
M4	32.9	0.4	51.7	15
M5	32.9	0.4	46.7	20
M6	32.9	0.4	41.7	25

La cantidad de agua empleada en la preparación de los morteros se fijó de manera que se obtuviera un porcentaje de fluidez de 115%. De acuerdo a la normatividad vigente, porcentajes de fluidez entre 100-120% generan morteros de consistencia media plástica para pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos [11].

Los materiales empleados en la preparación de los morteros fueron: cemento blanco Argos tipo 1; el residuo de ceniza de cascarilla de arroz, producto de quema no controlada fue recogido de las arroceras del Espinal en el Tolima (Colombia); la arena de sílice fue suministrada por la empresa Conalmin; el aditivo orgánico empleado fue éter de celulosa no iónico soluble en agua, suministrado por Pquim. Las baldosas empleadas de marca Corona con referencia piso catalonia ard blanco.

2.1. Caracterización Física

La prueba de absorción de agua es una medida de la porosidad interna de las baldosas, se efectúa según la

Norma ISO 10545-3 y permite clasificarlas determinando la cantidad de agua que absorben las piezas sumergidas en agua a ebullición por un periodo de tiempo; consiste en secar 5 probetas a 110°C hasta masa constante, este dato corresponde a la masa seca (m). Posteriormente se colocan verticalmente en una cesta metálica que se sumerge en un recipiente con agua hasta que las cubra 5 cm por encima y se someten a calentamiento por dos horas, se retiran y secan obteniendo así la masa saturada (ms), el porcentaje de absorción de agua se calcula con la siguiente relación matemática:

$$\% A = \frac{ms - m}{m} * 100 \quad (1)$$

Para la caracterización física de los agregados se realizó análisis granulométrico y módulo de finura (MF) con el objeto de determinar las cantidades presentes según tamaño de partícula, se empleó la Norma Técnica Colombiana (NTC) 32. El módulo de finura es un índice que describe de forma precisa la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que constituyen la muestra analizada e indica que cuanto mayor sea su valor más grueso es el agregado, la arena muy fina tiene módulos de finura menores de 1,5, lo que implica un mayor consumo de cemento y agua para una resistencia determinada [12], por lo que es fundamental el empleo del aditivo orgánico como agente retenedor de agua, para evitar agrietamientos de tipo contracción por secado.

El contenido total de humedad indica la cantidad de agua superficial retenida por las partículas de los agregados de acuerdo a las especificaciones de la NTC 1776. La densidad de un material se define como la masa por unidad de volumen, sin embargo para el caso de agregados, este término debe analizarse cuidadosamente ya que en estas partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna. Para el caso de los agregados pueden obtenerse distintos valores, en función de la condición en que la masa se esté considerando en el cálculo; para el ensayo realizado se emplearon agregados saturados y superficialmente secos (sss), situación en la cual los poros permeables de las partículas de agregado son llenados con agua a

través de una prolongada inmersión por un período de 24 horas, pero sin agua libre sobre la superficie de las partículas, se incluye la masa del agua dentro de los poros saturables, pero no se tiene en cuenta el volumen de los vacíos entre partículas [12]. El ensayo de densidad se realizó según indicaciones de la ASTM-C 128, teniendo en cuenta para el cálculo los datos a 20°C de la masa del picnómetro lleno con agua (B), la masa de la muestra saturada superficialmente seca (S) y la masa del picnómetro con la muestra y el agua (C), a partir de la ecuación (2):

$$D\left(\frac{Kg}{m^3}\right) = 1001,4 * S / (B + S - C) \quad (2)$$

La masa unitaria se define como la relación entre la masa de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas dentro de un recipiente de volumen conocido (V). Los vacíos hacen referencia al espacio entre las partículas en una masa de agregado que no se encuentra ocupado por materia mineral sólida. La diferencia con la prueba anterior radica en que se incluye el volumen de los vacíos entre las partículas del árido. La prueba se realizó según la NTC 92, para la masa unitaria suelta se efectúa el procedimiento por paleo llenando completamente el molde y se determina la masa del molde mas el agregado (G) y la masa del molde vacío (T). El ensayo de masa unitaria compacta se diferencia en que el llenado se hace por apisonamiento. El cálculo se hace a través de la ecuación:

$$M = \frac{G-T}{V} \quad (3)$$

El porcentaje de vacíos entre partículas se determina con la densidad del agregado (D), la densidad del agua (W= 998,2 Kg/m³) y la masa unitaria del agregado (M)

$$\% Vacios = \frac{(D \times W) - M}{D \times W} \times 100 \quad (4)$$

2.2. Caracterización Química

El ensayo de presencia de impurezas orgánicas en los dos agregados se efectuó por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio detallada en la

NTC 127, la presencia de este tipo de impurezas afectan el proceso de hidratación del cemento, causando un retraso en el endurecimiento y por tanto en la resistencia de morteros de consistencia plástica.

El análisis químico de la arena y la ceniza de cascarilla de arroz se realizó en Química Ltda, por gravimetría para el Si y por absorción atómica con llama para Fe, Na, K, Ca, Al, y Mg. La determinación de la reactividad álcali-sílice (RAS) se llevó a cabo según la ASTM C-289; la RAS genera reacciones expansivas en el mortero y procesos de fisuración, los álcalis, principalmente en forma de sales de sodio y potasio provienen de la composición del cemento y reaccionan con la sílice reactiva de los agregados. El ensayo permite calcular la concentración de sílice disuelta (Sc) para cada muestra y la reducción de alcalinidad (Rc), estos dos valores se llevan a un gráfico patrón que clasifica el agregado como inocuo, nocivo o potencialmente nocivo.

2.3. Ensayos mecánicos

Estos ensayos permiten determinar las propiedades mecánicas de fluidez inicial, para el mortero en estado plástico y la adherencia para un tiempo abierto de 10 minutos, para el mortero en estado endurecido. La fluidez del mortero está relacionada con la facilidad para manejar y extender la mezcla sobre el soporte sin que se produzcan problemas de segregación, determina la movilidad de las partículas de agregado, la cual está influenciada por la lubricación proveniente de la pasta de cemento, aspecto que está relacionado con el contenido de agua, el tamaño del agregado, la dosificación del mortero, la presencia del agente retenedor de agua y el contenido de aire [11]. Para esta prueba se siguen las especificaciones de la NTC 5784. Se hace la preparación del mortero en seco agregando a la mezcladora las proporciones correspondientes hasta homogeneidad, se procede a verter la proporción de agua correspondiente para cada mortero y en la mesa de flujo se determina el diámetro de la base de la muestra en cuatro puntos y se calcula el diámetro promedio. El ensayo se repite con cada mortero y se determina la cantidad de agua requerida para obtener una fluidez de 115%, mediante ensayo y error.

El propósito principal de los adhesivos tipo mortero es la adherencia, la cual se define como la fuerza máxima por unidad de área de superficie necesaria para separar las baldosas de cerámica de la placa de concreto mediante ensayos de tracción. Se denomina adhesión a la fuerza con la cual la película del adhesivo se adhiere a los materiales por pegar por medio de atracción molecular; en este fenómeno intervienen factores mecánicos y químicos. Para el caso de los adhesivos a base de cemento predomina la adhesión mecánica en la cual, cuando el sustrato presenta una superficie rugosa o porosa, se origina una penetración del material de la capa adhesiva en los intersticios de los adherendos, formándose puntos de anclaje mecánico y la adherencia del sistema se encuentra determinada por la resistencia mecánica de las partes. Por medio de esta teoría se explican los mecanismos de adherencia que ocurren entre el mortero y la cerámica porosa, razón por la cual el reverso de las baldosas se diseña en relieve [12].

El tiempo abierto es el intervalo máximo después de la aplicación, en el cual las baldosas pueden ser fijadas en el mortero aplicado y adquirir la fuerza de tracción requerida. Para esta prueba los adhesivos tipo mortero se aplican a una placa de concreto y se procede a la colocación de las baldosas, las cuales tienen un área de 2500mm², con un tiempo abierto de 10 minutos; pasados 28 días se realiza tracción en cada probeta, según lo especificado en la NTC 6050-2. Se realizó el mismo procedimiento con un mortero comercial adicionando la cantidad de agua sugerida por el fabricante, este mortero referencia permitió la comparación de los resultados obtenidos y el análisis estadístico. Fueron efectuadas 5 repeticiones por mortero en el Laboratorio Contecon Urbar.

3. Resultados y análisis

3.1. Resultados caracterización física

La absorción de agua de las baldosas es una medida de la porosidad interna, el valor promedio obtenido fue de 8,3%, de acuerdo al porcentaje de absorción se establece que las baldosas de cerámica pertenecen a las clasificadas en el grupo IIB que corresponde a una absorción media-alta del 6% al 10%, que estaría

acorde con el rango especificado en la ficha técnica del producto.

Las curvas granulométricas obtenidas para la ceniza de cascarilla de arroz y la arena se observan en la figura 1. Para la arena se obtuvo un módulo de finura de 0,79 y el de la cascarilla fue 1,64; al comparar las dos gráficas y sus respectivos módulos de finura se determina que la ceniza de cascarilla tiene una mayor cantidad de gruesos que la arena, por lo que se hace necesario ajustar la granulometría de la ceniza para que sea muy similar a la de la arena para así preparar los morteros de ensayo.

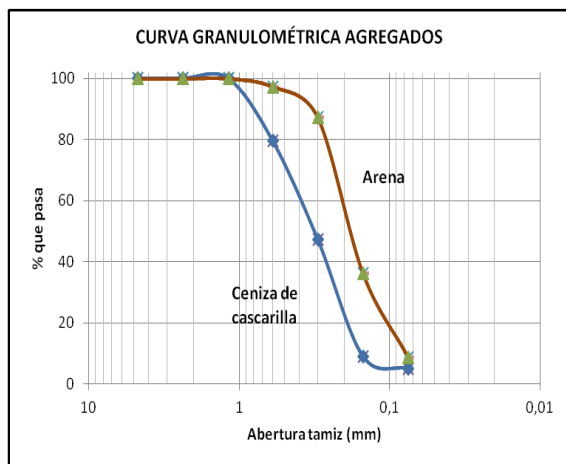


Figura 1. Curvas granulométricas.

La distribución granulométrica tiene incidencia directa en la trabajabilidad de la mezcla, razón por la cual para los adhesivos tipo mortero se emplean arenas finas, como se verifica con el módulo de finura obtenido.

Los resultados de la caracterización física restante se reportan en la Tabla 2; en cuanto al porcentaje de humedad se obtienen valores reducidos, por lo que no es necesario un secado previo. Para la densidad y masa unitaria, tanto suelta como compacta, se evidencia un valor más alto para la arena debido a que es un material de más fácil compactación y mayor porosidad, esto quiere decir que al utilizar la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo del agregado natural se producen morteros en estado seco más ligeros, lo que puede tener incidencia en la disminución de las propiedades mecánicas, adicionalmente se aumenta la demanda de agua para formar una mezcla plástica y manejable, como se

verifica más adelante en la tabla 4, observándose un aumento de la relación agua/mortero a medida que aumenta la proporción de ceniza de cascarilla de arroz, valores excesivos en esta relación pueden generar fisuras y agrietamientos en el mortero en estado endurecido.

Tabla 2. Caracterización física de agregados.

Propiedad Física	Arena	Ceniza de cascarilla de arroz
Humedad (%)	0,11	0,65
Densidad (Kg/m ³)	2589	1684
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1281	205
Masa unitaria compacta (Kg/m ³)	1453	272
% vacíos en agregado suelto	49,9	0,88
% vacíos en agregado compactado	43,0	0,84

Propiedades como densidad, masa unitaria compacta y masa unitaria suelta son menores, comparando con otras investigaciones en las que se hace caracterización de la ceniza de cascarilla de arroz [13], esto debido al ajuste granulométrico realizado. En este estudio se reporta una densidad de 2980 Kg/m³, masa unitaria suelta y compacta de 315 Kg/m³ y 417 Kg/m³, respectivamente. El porcentaje de vacíos, tanto en estado suelto como compacto, es evidentemente menor al de la arena, debido nuevamente a que la ceniza no es un material poroso, siendo esta una característica de este tipo de material [14], frente a materiales como el árido fino que presenta alta porosidad y absorción.

3.2. Resultados caracterización química

La observación realizada en la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio para la determinación de impurezas orgánicas produjo un resultado negativo, como se muestra en la Figura 2, pues la comparación del color de las soluciones de las muestras de cada agregado con el Dicromato de Potasio mostraron que ninguno de los dos agregados presenta impurezas orgánicas. Este aspecto es fundamental y es el

resultado de la quema controlada de la cascarilla de arroz.



Figura 2. Comparación colorimétrica para determinación de impurezas orgánicas de los agregados.

En la Tabla 3 se describe la composición química de la arena y ceniza de cascarilla de arroz.

Tabla 3. Composición química de los agregados.

Componente	Porcentaje en masa	
	Arena	Ceniza de cascarilla de arroz
SiO ₂	96,8	94,3
Al ₂ O ₃	1,50	0,75
Fe ₂ O ₃	0,11	0,03
Na ₂ O	<0,01	0,10
K ₂ O	0,10	1,01
CaO	0,05	0,72
MgO	0,02	0,36
Otros	1,41	2,73

Comparando los resultados del análisis químico se evidencia el alto contenido de dióxido de silicio para ambos agregados, los porcentajes de óxidos alcalinos para la ceniza son altos comparativamente con la arena, sin embargo estos valores no generan una influencia determinante en el mortero.

En la Figura 4 se puede observar la gráfica para la reactividad álcali-sílice de la arena y la ceniza, representando ambos agregados inócuos para el mortero, este resultado confirma la alternativa de uso de la ceniza de cascarilla de arroz de manera que se reduce la probabilidad de expansión y ruptura a largo plazo en el material endurecido debido a la reacción con los álcalis del cemento. En investigaciones

efectuadas con morteros y concretos que usan la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo del material cementante [15] se asevera que dentro de los beneficios de su uso se encuentra la reducción del efecto de la reactividad álcali-sílice, la mejora en la trabajabilidad del concreto, la disminución de la permeabilidad al aire debido al efecto puzolánico y de relleno, alcanzando resistencias tempranas.

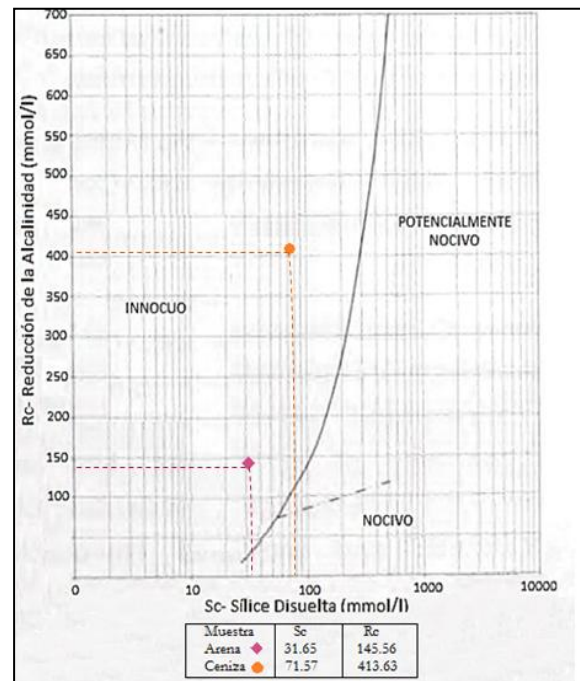


Figura 4. Gráfica Reactividad álcali-sílice para arena y ceniza de cascarilla de arroz.

3.3. Resultados ensayos mecánicos

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la relación agua/mortero obtenida para una fluidez de 115%.

Tabla 4. Relación agua/mortero.

Mortero	Reemplazo agregado (%)	Relación agua/mortero
M1	0	0,48
M2	5	0,51
M3	10	0,58
M4	15	0,64
M5	20	0,69
M6	25	0,72

La mayor incorporación porcentual de ceniza de cascarilla de arroz genera altas demandas de agua en comparación con el mortero de referencia que maneja una relación agua/mortero de 0,27, esto debido a la alta porosidad de la ceniza. En otros estudios [16] con morteros con cascarilla de arroz pre tratada con disolución básica se concluye que se requiere la adición de sustancias tensoactivas, explicando que la oclusión de aire permite mejorar la trabajabilidad.

Con los resultados de la relación agua/mortero se preparó cada una de las probetas para el ensayo de adherencia, que permitió determinar la resistencia a la tracción en MPa después de 28 días, como se muestra en la Tabla 5. Para todos los morteros, el patrón de falla fue dentro de la capa del adhesivo que estaba siendo ensayado, excepto para la muestra 2, que no fue posible medir la fuerza de tracción ya que las baldosas se desprendieron al momento de comenzar con la prueba, por lo que no se incluye en la tabla pero si en el análisis estadístico. Se evidencia que el mortero 5 tiene una resistencia a la tracción del mismo valor que la del mortero de referencia. En la figura 5 se observan fotografías del ensayo.

Resultados semejantes fueron obtenidos en un estudio en el que se empleó agregado reciclado procedente de residuos de construcción, en el cual se verificó que la reducción en propiedades físicas no produce alteraciones que comprometan su desempeño [17].



Figura 5. Ensayo de adherencia por tracción.

Con relación a los resultados de la tabla 5 se observa un aumento de la resistencia a la tracción con los morteros que incluyen en su composición ceniza de cascarilla de arroz, pero este valor es menor con respecto al de referencia, excepto para el M5.

Tabla 5. Resistencia a la tracción de morteros.

Mortero	Carga de tracción (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resultados (MPa)	
			Mín	Máx
M1	240,3	0,10	0,09	0,29
	735,5	0,29		
	229,5	0,09		
	299,1	0,12		
	313,8	0,13		
Promedio	363,6	0,15		
M3	428,5	0,17	0,16	0,27
	521,7	0,21		
	684,5	0,27		
	602,1	0,24		
	400,1	0,16		
Promedio	527,4	0,21		
M4	462,9	0,19	0,13	0,24
	591,3	0,24		
	334,4	0,13		
	469,7	0,19		
	383,4	0,15		
Promedio	448,4	0,18		
M5	769,8	0,31	0,23	0,43
	1068,9	0,43		
	566,8	0,23		
	625,7	0,25		
	612,9	0,25		
Promedio	728,8	0,29		
M6	29,4	0,27	0,19	0,31
	63,7	0,30		
	279,5	0,19		
	183,4	0,25		
	17,7	0,31		
Promedio	114,7	0,26		
Referencia, producto comercial	808,1	0,32	0,23	0,34
	783,5	0,31		
	849,3	0,34		
	633,5	0,25		
	563,9	0,23		
Promedio	727,6	0,29		

Se realizó un análisis de varianza ANOVA de un factor por medio del software Minitab, definiendo la resistencia a la tracción o adherencia como la variable dependiente para un tiempo abierto de 10 minutos, los factores son las variables del proceso y corresponden al porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz en la mezcla y se pretende determinar si existen diferencias significativas entre las medias de cada uno de los morteros, incluido el mortero de referencia, con un nivel de confianza del 95%.

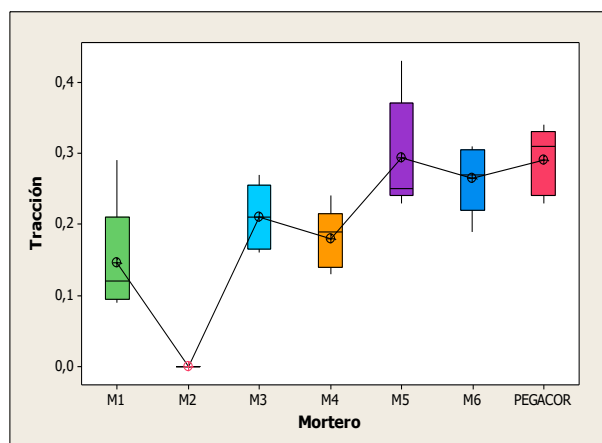


Figura 6. Ensayo de adherencia por tracción a los adhesivos tipo mortero.

El valor de R^2 de ajuste del modelo a los datos fue de 78,62%. Como puede observarse en el gráfico de cajas de la figura 6, los puntos que representan las medias de la resistencia a la tracción de cada mortero aparecen dispersos a distintos niveles, lo que muestra diferencias significativas entre los resultados. Esta diferencia en las medias se confirma con el valor de F obtenido, el cual fue de 17,16; este resultado era el esperado ya que la Norma NTC 6050-2 exige varias repeticiones lo que con anticipación indica la alta variabilidad del ensayo. Adicionalmente se verifica la mayor resistencia a la tracción del mortero 5, con la media más alta, a pesar de la alta dispersión de sus datos. El mortero 6, con reemplazo del 25% presenta menor dispersión y una resistencia cercana a la obtenida para el producto de referencia; en este sentido se concluye que el mortero 5, con un 20% de reemplazo del agregado fino será la mezcla óptima para este estudio, pero se obtienen resistencias adecuadas si el reemplazo se amplía hasta 25%. Sin embargo es necesario que se lleven a cabo pruebas adicionales con el mortero 5 para poder disminuir la variabilidad de los datos en comparación con el producto comercial, lo cual no se presenta con el mortero 6. Es importante aclarar que según la Norma se deben obtener resistencias a la tracción superiores a 0,8 MPa, sin embargo en las condiciones del ensayo son los valores obtenidos, aún para el mortero de referencia, cuya ficha técnica reporta valores mayores o iguales a 0,5MPa.

4. Conclusiones

De los ensayos realizados se plantean las siguientes conclusiones:

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades físicas, químicas y mecánicas se determinó la factibilidad de emplear ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino en los adhesivos tipo mortero en porcentajes entre 20% y 25%, sin embargo es necesario un ajuste de la granulometría de la ceniza de manera que concuerde con la distribución de tamaños de partícula de la arena.

Al aplicar las pruebas mecánicas a los morteros elaborados a través del diseño de mezclas con reemplazo parcial del agregado fino, se fijó una fluidez del 115% de tal forma que la única variable fuera el agua. De esta manera se garantiza que el mortero se encuentre dentro del rango establecido por la norma.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de adherencia, se determinó que porcentajes de reemplazo de arena por ceniza de cascarilla de arroz óptimos oscilan entre 20% y 25%, para el primer caso se obtiene un valor de resistencia a la tracción equivalente al del producto de referencia en las condiciones de ensayo realizadas por Laboratorios Contecon Urbar para un tiempo abierto de 10 minutos.

En general, los morteros ensayados con composición de ceniza de cascarilla de arroz no presentan valores de adherencia altos. En estudios posteriores es importante considerar la forma de las partículas de agregado, al ser más porosa y compacta la arena, se debe verificar una forma esférica, mientras que para la ceniza de cascarilla de arroz, es probable que tenga forma angular y este aspecto incide en la trabajabilidad de la mezcla. De igual forma es necesario ensayar la adherencia a tiempos abiertos mayores a 10 minutos.

Referencias

1. Crespo Escobar Santiago (2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Editorial Club Universitario, España.
2. Echandía, O. (2011). "Impactos ambientales ocasionados por la minería en el Departamento de Cundinamarca". En: *Impactos ambientales de la minería en Colombia*, Guajira, Universidad de la Guajira (14).
3. Correa Arroyave Álvaro. (2000). Situación actual de la explotación de canteras en el Distrito Capital. *Revista Ingeniería e Investigación*. 46: 45-55.
4. Sierra, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
5. Bizzoto M., Natalini M., Gómez G. (1998). Minihormigones con cascarilla de arroz natural y tratada con agregado granular. *Memorias I Congreso Internacional de Tecnologías del hormigón Argentina*. 11p.
6. Batic O., Giaccio O., Zerbino R., Isaia G. (2010). Las cenizas de cáscara de arroz y la reacción álcali sílice. *Memorias VI Congreso Internacional sobre patología y recuperación de estructuras Argentina*. 13 p.
7. Ahmadi M.; Alidoust O., Sadrinejad I., Nayeri M. (2007). Development of Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Contain Rice Husk Ash. *Proceedings of world Academy of Science, Engineering and Technology*. 23: 503-506.
8. Thanh Le H., Siewert K., Ludwig H. (2015). Alkali silica reaction in mortar formulated form self-compacting high performance concrete containing rice husk ash. *Construction and building materials*. 88, 10-19.
9. Vegas I., Azcarate I., Juarrero A., Frías M. Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón (2009). *Materiales de construcción*. 59 (295), 5-18.
10. Seung B., Bong C., Jeong H. (2004). Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. *Cement and Concrete Research*. 34 (12): 2181-2189.
11. Gutierrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional, Manizales.
12. Sánchez de Guzmán Diego. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar editores, Bogotá.
13. Fuentes N., Fragozo O., Vizcaino L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 25-2: 99-116.
14. Rendón D., Ospina M., Mejía R. (2009). Evaluación de la sílice obtenida de un subproducto industrial en pastas y morteros de cemento portland. *Revista Informador Técnico*. 73: 20-26.
15. Karim M., Zain M., Jamil M., Islam M. (2012). Strength of Mortar and Concrete as Influenced by Rice Husk Ash: A Review. *World Applied Sciences Journal*. 19 (10): 1501-1513.
16. Serrano T., Borrachero M., Monzó J., Payá J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*. 79 (175), 128-136.
17. Hincapié Á., Aguja E. (2003). Agregado reciclado para morteros. *Revista Universidad EAFIT*, 39 (132): 76-89.